

Diseño de un sistema de energía híbrido conectado a la red

Design of a hybrid energy system connected to the network

Desenho de um sistema de energia híbrido conectado ao vermelho

Alejandro Javier Martínez-Peralta

amartinez8875@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1176-5001>

Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí-Ecuador

Raúl Clemente Ulloa-de Souza

raul.ulloa@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1885-0161>

Facultad de Ingenierías de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas-Ecuador

Byron Fernando Chere-Quiñónez

bchere8077@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1886-6147>

Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí-Ecuador

Jorge Daniel Mercado-Bautista

jmercado0070@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6055-1670>

Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí-Ecuador

RESUMEN

El presente artículo presenta el diseño de un sistema de energía híbrido conectado a la red para aplicaciones en un área rural en la parroquia rural Carlos Concha Torres de la provincia de Esmeraldas. La metodología aplicada es de carácter cuantitativo la misma que se llevó a cabo investigando los potenciales de la energía eólica y solar y recopilando datos de diferentes fuentes. El software HOMER presenta un modelo híbrido de optimización a través de las energías renovables, que se utilizó para analizar los datos disponibles y la viabilidad económica del sistema de energía propuesto. Finalmente se diseñan y optimizan dos tipos de modelos denominados fuera de la red y dentro de la red con fines comparativos. Se concluye realizando un análisis de sensibilidad para cada modelo con el fin de determinar el efecto de las variaciones en el coste de la energía de la red sobre su coste total.

Palabras claves: HOMER; Sistema de Energía Híbrido; Energía Renovable.

ABSTRACT

This article presents the design of a hybrid power system connected to the grid for applications in a rural area in the rural parish of Carlos Concha Torres in the province of Esmeraldas. The applied methodology is of a quantitative nature, the same one that was carried out investigating the potentials of wind and solar energy and compiling data from different sources. HOMER software presents a hybrid optimization model through renewable energies, which was used to analyze the available data and the economic viability of the proposed energy system. Finally, two types of models called outside the network and inside the network are designed and optimized for comparative purposes. It concludes by performing a sensitivity analysis for each model in order to determine the effect of variations in the cost of network energy on its total cost.

Keywords: HOMER; Hybrid Power System; Renewable energy.

RESUMO

Este artigo apresenta o projeto de um sistema elétrico híbrido conectado à rede para aplicações em uma área rural na freguesia rural de Carlos Concha Torres na província de Esmeraldas. A metodologia aplicada é de natureza quantitativa, a mesma que foi realizada investigando os potenciais da energia eólica e solar e compilando dados de diferentes fontes. O software HOMER apresenta um modelo de otimização híbrido por meio de energias renováveis, que foi utilizado para analisar os dados disponíveis e a viabilidade econômica do sistema energético proposto. Finalmente, dois tipos de modelos chamados fora da rede e dentro da rede são projetados e otimizados para fins comparativos. Conclui realizando uma análise de sensibilidade para cada modelo a fim de determinar o efeito das variações do custo da energia da rede em seu custo total.

Palabras-chave: HOMER; Sistema Híbrido de Energía; Energía renovável.

Introducción

Las fuentes de energía renovables (RES) ofrecen una solución eficiente al calentamiento global y al alto costo del combustible. Por lo tanto, existe un interés creciente en las FER, particularmente en la energía fotovoltaica (FV) y eólica (Pamella et al., 2019), (Chikara et al., 2019). Recientemente, los sistemas de energía híbridos que utilizan ER se están volviendo más populares debido a sus ventajas potenciales (Nayak et al., 2018).

Aunque la energía eólica y solar tiene varias ventajas, un generador solar o eólico en un sistema independiente no puede suministrar la carga de forma continua debido a su naturaleza intermitente (Jafar et al., 2018). Como las demandas de carga siempre cambian con el tiempo, los cambios en las generaciones de energía solar o eólica no siempre coinciden con la distribución temporal de la demanda del consumidor (Dash et al., 2018). Por lo tanto, existe la necesidad de almacenamiento de batería adicional u otros componentes para proporcionar un suministro de energía continuo a la carga. Se ha investigado que un sistema híbrido fotovoltaico/eólico/de batería es una fuente segura de electricidad (Chowdary et al., 2018), (Sarathkumar et al., 2021). Sin embargo, debido al alto costo del almacenamiento de energía de la batería, un sistema independiente es muy costoso (Sarathkumar et al., 2021). Por lo tanto, es fundamental encontrar una solución efectiva a este problema. Por lo tanto, el objetivo principal de este documento es analizar la viabilidad económica del sistema de energía híbrido conectado a la red (turbina fotovoltaica/eólica) para cumplir con los requisitos de carga en un área específica. A modo de comparación, también se diseña un sistema de energía híbrido fuera de la red (fotovoltaico/eólico/batería).

Metodología

En este documento, se han diseñado modelos de sistemas de energía híbridos tanto conectados como fuera de la red utilizando HOMER para evaluar y determinar el costo de diferentes modelos. El software de simulación HOMER necesita algunos datos de entrada para evaluar los resultados de optimización para diferentes combinaciones que se describen en la siguiente sección (Khan & Javaid, 2020).

A. Perfil de carga

En este trabajo, el perfil de carga consideró el consumo energético promedio por área propuesta y es de 310.28 kWh/d. La Figura 1 muestra el perfil de carga promedio diario en el que se ha encontrado como pico de demanda el período de 0:00 a 21:00 h que determina el tamaño del sistema. Aquí, 57,61 kW se considera como consumo de carga máxima. El promedio anual escalado (kWh/d) se supone 310.28. La Fig. 2 muestra la carga promedio mensual en la región propuesta.

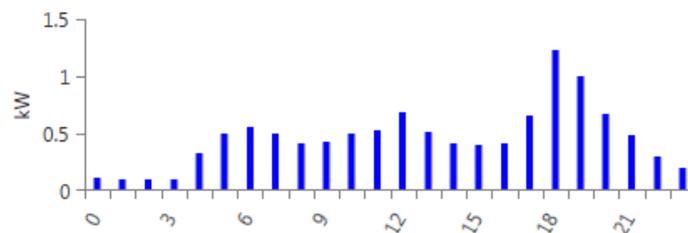


Figura 1. Procedimiento de Análisis de Costos por HOMER.

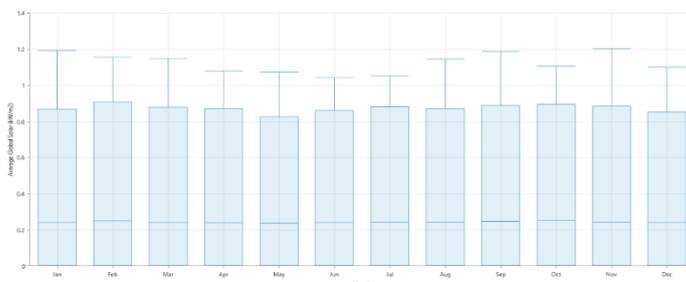


Figura 2. Carga para un año completo (promedio mensual).

B. Velocidad del viento y radiación solar

Los datos de velocidad del viento y radiación solar se obtienen de la base de datos de meteorología de superficie y energía solar de la NASA. Datos de velocidad del viento obtenidos a 50 m sobre la superficie del nivel del mar para la ubicación de la parroquia Carlos Concha Torres, como se muestra en la Fig. 4. La figura muestra que la velocidad del viento varía de 3.19 a 5.22 m/seg. La mayor velocidad del viento se produce en octubre, teniendo así un promedio anual escalado de 4.46 m/seg. Los datos mensuales de radiación solar promedio se muestran en la Fig. 5. Tal como se usa en el software HOMER, la latitud y la longitud de la parroquia Carlos Concha Torres, Ecuador (0°42.7'N, 79°41.3'W), respectivamente. La radiación solar media anual se estima en 4.20 kWh/m²/día.



Figura 3. ubicación de la parroquia Carlos Concha Torres



Figura 4. Velocidad del viento (media mensual).

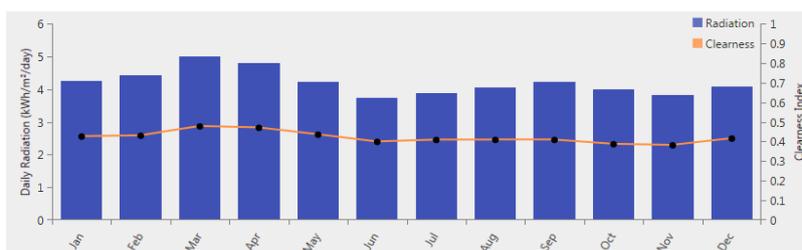


Figura 5. Índice de claridad y radiación solar (promedio mensual).

Metodología

A. HOMER Software

El Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) en los Estados Unidos (EE.UU.) desarrolló el software HOMER (NREL, 2004). Generalmente se utiliza para el diseño y análisis de sistemas de energía híbridos. En este documento, los datos de carga eléctrica, radiación solar y velocidad del viento, los detalles de los componentes y los costos se proporcionan como información de entrada a HOMER.

B. Procedimiento de análisis de costos por HOMER

- 1) Coste presente neto (NPC): NPC indica el coste de instalación y el coste operativo del sistema a lo largo de su vida útil, que se calcula de la siguiente manera (Rezzouk & Mellit, 2015):

$$NCP = TAC / CRF (i, Rpr_i)$$

donde, TAC, CRF, i y Rpr_i son el costo total anualizado (\$), el factor de recuperación de capital, la tasa de interés en porcentaje y el tiempo de vida del proyecto en el año, respectivamente.

- 2) Costo total anualizado: Es la suma de los costos anualizados de cada equipo del sistema de energía, incluido el capital y el costo de operación y mantenimiento. También incluye el reemplazo y el costo del combustible (Rezzouk & Mellit, 2015).
- 3) Factor de recuperación de capital: Es una ratio que se utiliza para calcular el valor actual de una serie de flujos de caja anuales iguales (Rezzouk & Mellit, 2015).

$$CRF = \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

donde, n e i representan el número de años y la tasa de interés real anual, respectivamente.

- 4) Tipo de interés real anual: Es una función del tipo de interés nominal que se muestra cómo (Rezzouk & Mellit, 2015):

$$i = \frac{i' - F}{1 + F}$$

Coste de la energía (COE): Es el coste medio/kWh de energía eléctrica útil producida por el sistema. El COE se calcula de la siguiente manera (Rezzouk & Mellit, 2015):

$$COE = \frac{TAC}{L_{prim,AC} + L_{prim,DC}}$$

donde, $L_{prim,AC}$ y $L_{prim,DC}$ son la carga primaria de CA y la carga primaria de DC, respectivamente.

Modelo de simulación

Los componentes se eligen de HOMER para realizar la simulación. La Figura. 6. muestra el diseño del sistema de energía híbrido conectado a la red utilizando HOMER, que consiste en una matriz fotovoltaica, un generador eólico, un convertidor, una carga, una batería y una conexión a la red.

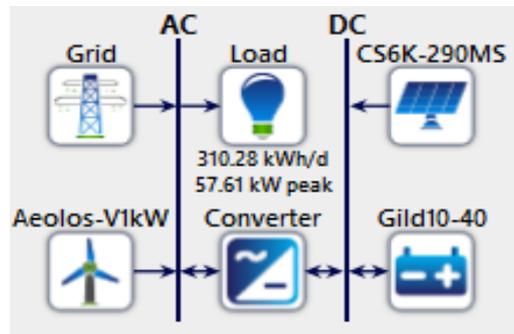


Figura 6. La disposición del sistema de energía híbrido (red conectada).

La figura. 7. muestra el mismo diseño, pero sin conexión a la red.

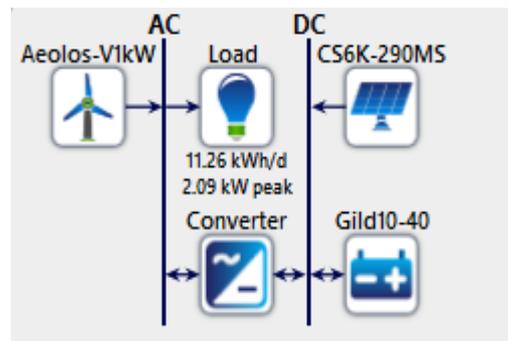


Figura 7. La disposición del sistema de energía híbrido (fuera de la red).

Para estimar el rendimiento del sistema en diferentes situaciones, HOMER simula los dos arreglos anteriores en la misma área y la misma carga en función de diferentes costos, como el costo estimado de instalación, el costo de operación y mantenimiento, el costo de reemplazo, el interés, el costo de energía.

Los principales componentes del sistema híbrido conectado a la red son la turbina eólica, la matriz fotovoltaica, el banco de baterías y un convertidor de potencia. Para el análisis económico, se utilizan los siguientes valores.

A. Matriz fotovoltaica:

Nombre: Canadian Solar All-Black CS6K-290MS, Tipo Silicio Monocristalino, Clasificación de potencia STC 290W, Tolerancias de potencia 0%/+5%, fabricado por Canadian Solar. Su eficiencia es de alrededor del 17.72% y Período de garantía de salida de potencia del 80 % (vida útil) 25 años. Inicial el costo de instalación de los arreglos fotovoltaicos se asume como \$3000 por kW y coste de operación y mantenimiento prácticamente nulo.

B. Aerogenerador:

Para este estudio, dos Aeolos-V 1kW vertical wind turbine, Potencia nominal 1 kilovatio, Potencia máxima de salida 1500W, Velocidad del viento de arranque 1,5 m/s (3,4 mph), Velocidad nominal del viento 10 m/s (22,3 mph), Eficiencia del generador >0,96 y Diseño de por vida 20 años. El costos de capital de \$320,000 y operación y mantenimiento de \$300, respectivamente.

C. Convertidor de potencia:

Nombre: convertidor de sistema, fabricado por Generic. Su la eficiencia es de alrededor del 90% y la vida útil de unos 20 años. En esto papel, el costo de capital para un convertidor de 1 kW es de \$300. El costo de reemplazo es de \$300 y el costo de operación y mantenimiento prácticamente cero.

D. Banco de almacenamiento de batería:

El nombre del banco de baterías es CELLCUBE®FB10-40, fabricado por Gildemeister, con una capacidad de 40 kWh, vida útil 876000 kWh. Su eficiencia es de alrededor del 64%. conectado a la red diseños, una batería solo se usa durante cualquier falla en la red para mantener la continuidad del suministro.

E. Grid:

En el diseño conectado a la red, se utiliza una red como energía de respaldo componente o absorbedor de exceso de potencia. La red suministra energía cuando no hay suficiente energía de RES para cumplir con la carga la demanda y la red consumen energía cuando hay demasiada energía disponible.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de fuentes de energía renovables en el área considerada, la energía eólica y solar se utilizan para diseñar el sistema híbrido de potencia. Una batería de almacenamiento de energía es se utiliza para respaldar el sistema en su modo fuera de la red.

Resultados de optimización

Los resultados de optimización para el modelo híbrido de potencia con y sin conexión a red, respectivamente se muestran en la Figuras 8 y 9. Para el sistema conectado a la red, como se muestra en la Fig. 8, el COE mínimo obtenido del resultado es de \$0.02584. En esto escenario, el porcentaje de contribución de energía renovable es 94.4%. En el modelo conectado a la red propuesto, un óptimo número de fuentes de energía renovables se activa y suministra electricidad a la carga. De la Fig. 9, se puede ver claramente que el sistema de energía sin conexión a la red para la misma carga es más caro (\$0.299) que el sistema conectado a la red (\$0.02584). El PNC para el diseño dentro y fuera de la red es de \$270,326,90 y \$47,794, respectivamente. En la Fig. 10 se puede ver que el total anual la producción del modelo híbrido propuesto es de 1.184084 kWh/año y el consumo por carga es de 113,252 kWh/año. El resto de la producción se vende a la red. El promedio mensual producción de electricidad de diferentes unidades utilizando en la propuesta del modelo se muestra en la Fig. 11.

Architecture									Cost				
CS6K-290MS (kW)	Aeolos-V1kW	Gild10-40	Grid (kW)	Converter (kW)	Efficiency1	Dispatch	NPC (US\$)	COE (US\$)	Operating cost (US\$/yr)	Initial capital (US\$)	Ren Frac (%)		
933		3	999,999	261	0	LF	-US\$270,327	-US\$0.0258	-US\$28,173	US\$93,883	94.4		
933			999,999	261	0	CC	-US\$266,822	-US\$0.0256	-US\$27,351	US\$86,755	93.5		
929	2	3	999,999	260	0	LF	-US\$263,887	-US\$0.0253	-US\$28,061	US\$98,872	94.5		
932	1		999,999	261	0	CC	-US\$263,796	-US\$0.0253	-US\$27,322	US\$89,409	93.6		
			999,999		0	CC	US\$146,407	US\$0.100	US\$11,325	US\$0.00	0		
	1		999,999		0	CC	US\$148,686	US\$0.102	US\$11,296	US\$2,660	1.34		
		1	999,999	0.584	0	LF	US\$148,979	US\$0.102	US\$11,327	US\$2,551	0.0268		
			999,999	1.36	0	LF	US\$157,556	US\$0.108	US\$10,943	US\$16,085	6.72		

Figura 8. Simulación para encontrar el diseño óptimo (conectado a la red).

Architecture							Cost				
CS6K-290MS (kW)	Aeolos-V1kW	Gild10-40	Converter (kW)	Efficiency1	Dispatch	NPC (US\$)	COE (US\$)	Operating cost (US\$/yr)	Initial capital (US\$)	Ren Frac (%)	
702		7	51.6	0	CC	US\$43,794	US\$0.0299	US\$412.13	US\$38,466	100	
541	1	9	51.0	0	CC	US\$51,093	US\$0.0349	US\$529.84	US\$44,244	100	
		268	54	91.1	0	CC	US\$1.09M	US\$0.745	US\$17,181	US\$868,516	100

Figura 9. Resultado de la simulación del sistema de energía fuera de la red (PV/Eólica/Batería).

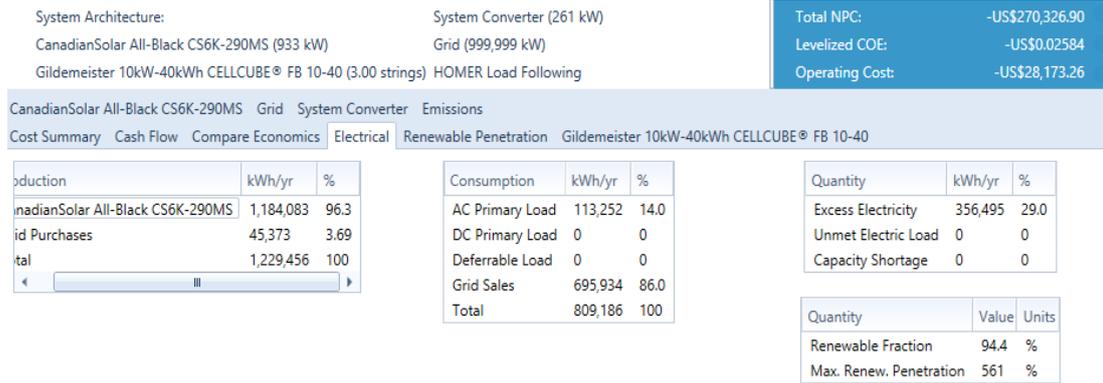


Figura 10. Instantánea del escenario de producción y consumo.

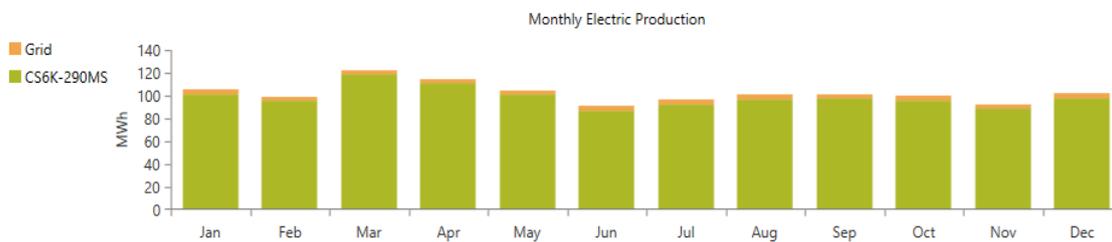


Figura 11. Producción eléctrica media mensual según el modelo propuesto.

Conclusión

En este artículo presenta un análisis comparativo entre un sistema aislado y un sistema de energía híbrido conectado a la red en un área rural en la parroquia Carlos Concha Torres de la provincia de Esmeraldas. El resultado de la optimización muestra que el sistema híbrido conectado a la red (fotovoltaico/eólico) es más eficiente y económico en comparación con el sistema híbrido tradicional (FV/Eólica/Batería) para la misma carga. De la simulación resultado, también se investiga que el Costo Actual Neto del modelo propuesto es menor que el modelo fuera de la red. Aunque fuera de la red sistema híbrido utiliza energía 100% renovable, pero necesita un Banco de baterías extra grande para almacenamiento de electricidad. Por otro lado, el exceso de potencia de salida del sistema fuera de la red no se utiliza. en el sistema híbrido conectado a la red no requiere una batería adicional banco en condiciones normales de operación y exceso de energía que es producidos por energías renovables se añaden a la red. Por lo tanto, se puede decir que la red propuesta conecta el sistema de energía híbrido es el más adecuado y rentable ya que ofrece varios beneficios.

Referencias

- Chikara, A., Asija, D., Choudeker, P., & Kumar, S. (2019). *Load Management and Techno Economic Analysis of Grid-Connected Power System* (pp. 408–412). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/doi.org/10.1109/RDCAPE47089.2019.8979063>
- Chowdary, M. N., Nagar, M. K., Kumar, M., Kant, N., Paswan, M. K., & Kumar, S. (2018). *Hybrid System Analysis with Renewable Energy and Thermal Energy for Health Clinic – A Case Study* (Vol. 3, Issue 2, pp. 303–308). International Journal of Research -GRANTHAALAYAH. <https://doi.org/doi.org/10.29121/granthaalayah.v6.i2.2018.1567>
- Dash, R. L., Behera, L., Mohanty, B., & Hota, P. K. (2018). *Cost and sensitivity analysis of a microgrid using HOMER-Pro software in both grid connected and standalone mode* (pp. 3444–3449). IEEE.

<https://doi.org/doi.org/10.1109/ICRIEECE44171.2018.9009218>

- Jafar, M., Moghaddam, H., Kalam, A., Nowdeh, S. A., Ahmadi, A., Babanezhad, M., & Saha, S. (2018). Optimal Sizing and Energy Management of Stand-alone Hybrid Photovoltaic / Wind System Based on Hydrogen Storage Considering LOEE and LOLE Reliability Indices Using Flower Pollination Algorithm. In *Renewable Energy*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.078>
- Khan, A., & Javaid, N. (2020). Jaya Learning-Based Optimization for Optimal Sizing of Stand-Alone Photovoltaic , Wind Turbine , and Battery Systems. In *Engineering* (Vol. 6, Issue 7, pp. 812–826). THE AUTHORS. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.06.004>
- Nayak, D. K., Prabakaran, N., Murugan, R., & Albert, A. J. (2018). An Improved IOT based Standalone Hybrid (Pv / Wind) System. In *2018 International Conference on Recent Innovations in Electrical, Electronics & Communication Engineering (ICRIEECE)* (pp. 2018–2020). IEEE. <https://doi.org/doi.org/10.1109/ICRIEECE44171.2018.9009337>
- NREL. (2004). *What does HOMER do?* DEPARTMENT OF ENERGY OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY. <http://www.nrel.gov/homer>
- Pamella, K. R., Sudiarto, B., & Setiabudy, R. (2019). *Economical Analysis Optimization of East Sumba Microgrids* (pp. 2018–2021). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/doi.org/10.1109/ICIRD47319.2019.9074648>
- Rezzouk, H., & Mellit, A. (2015). Feasibility study and sensitivity analysis of a stand-alone photovoltaic – diesel – battery hybrid energy system in the north of Algeria. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 43, pp. 1134–1150). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.103>
- Sarathkumar, D., Srinivasan, M., Stonier, A. A., Samikannu, R., & Anand, D. V. (2021). *Design of Intelligent Controller for Hybrid PV / Wind Energy Based Smart Grid for Energy Management Applications Design of Intelligent Controller for Hybrid PV / Wind Energy Based Smart Grid for Energy Management Applications*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1055/1/012129>